



Funktionsweise und Status Globaler Navigationssatellitensysteme (GNSS)

Dr. E. Engler

DLR, Institut für Kommunikation und Navigation



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Folie 1

TU Dresden, 23. Mai 2008



Inhalt

- GNSS: Funktionsweise, Messprinzipien, Messfehler und Qualitätskenngrößen
- Operationelle GNSS(s):
 - GPS
 - GLONASS
- Zukünftige GNSS(s):
 - Galileo
 - COMPASS
 - QZSS
- Satellitengestützte Ergänzungssysteme - Überblick



Funktionsweise

Messprinzipien

Messfehler

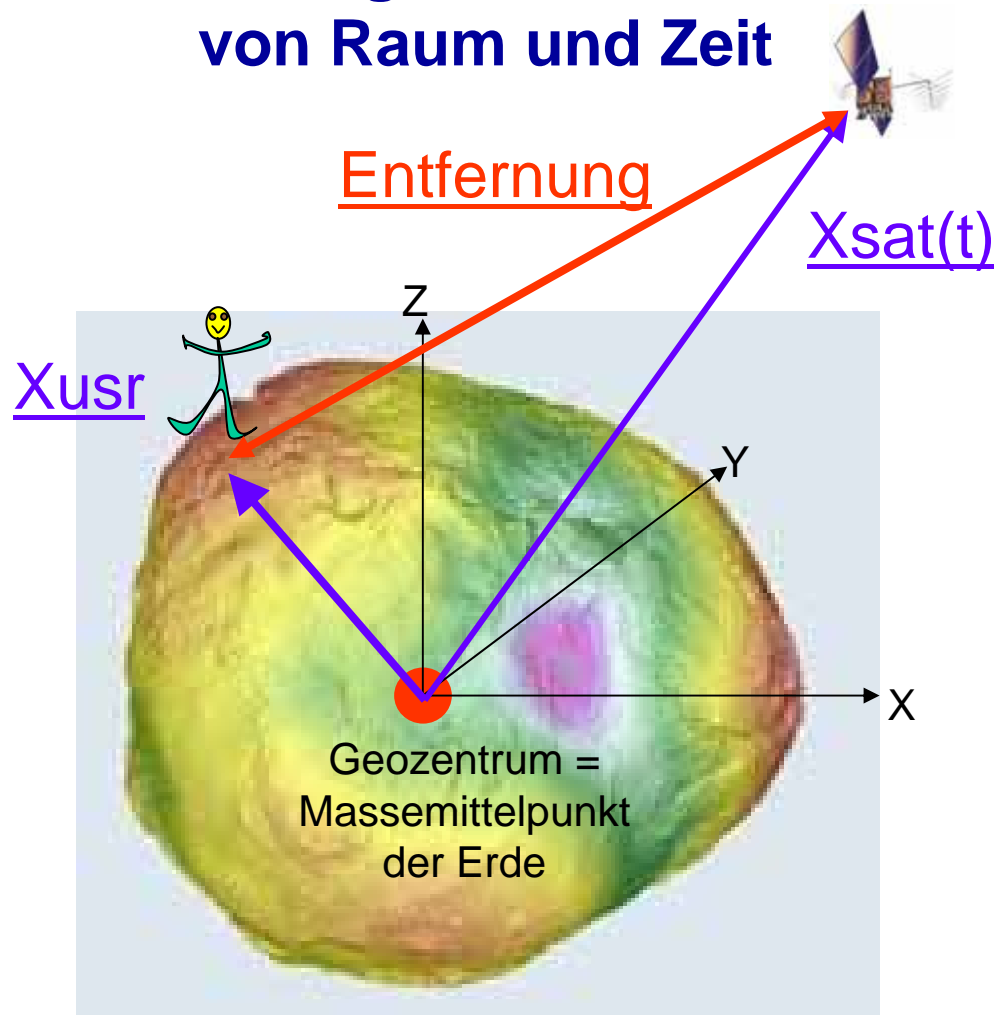
Qualitätskenngrößen

Navigationssatelliten (GPS, Glonass, Galileo) kann man sich als um die Erde bewegende Referenzpunkte vorstellen, die kontinuierlich modulierte Funksignale aussenden

3D - Positionsbestimmung



Management von Raum und Zeit



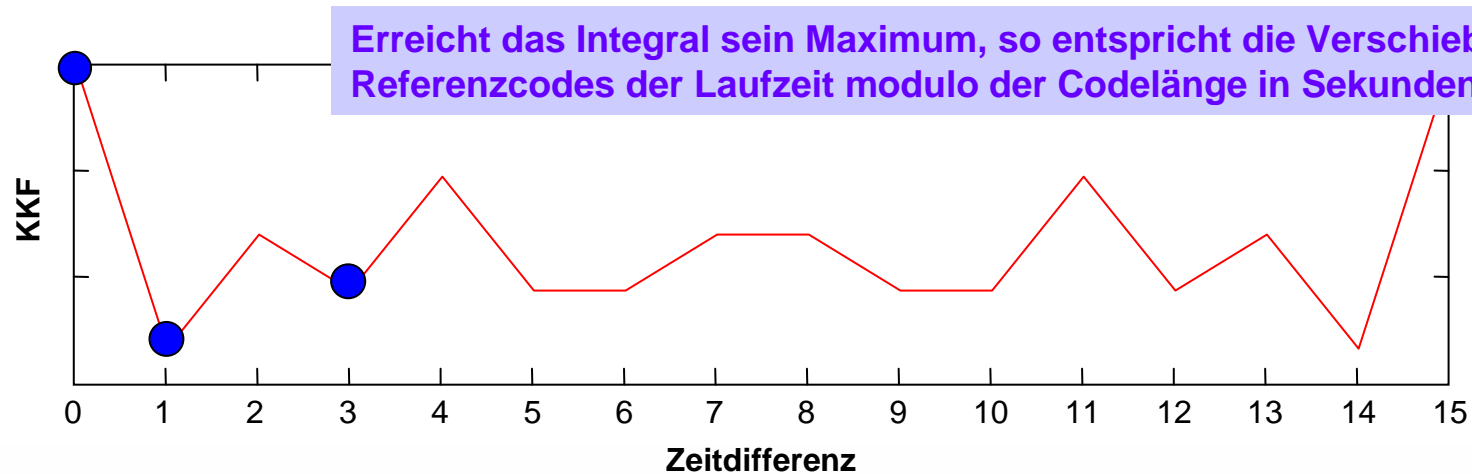
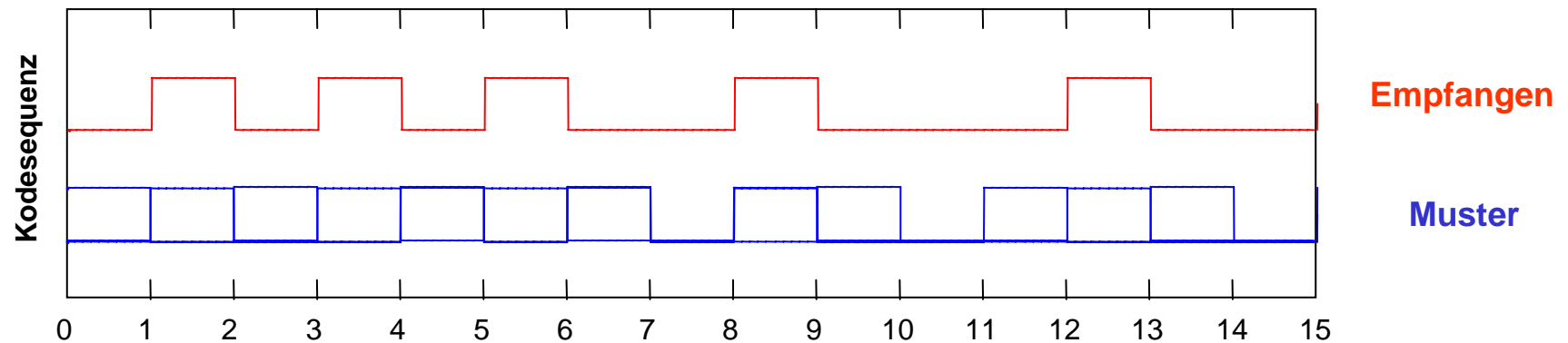
- Die **Angabe von Positionen** erfolgt in einem vorab spezifizierten **Koordinatensystem** mit einem eindeutigen **Zeitbezug**.
- Die Verwendung von **Navigationsdaten** ermöglicht dem Empfänger, die **Position jedes GNSS-Satelliten** für einen bestimmten Zeitpunkt zu berechnen. (GPS: WGS 84, GPS Systemzeit)
- Die Navigationsdaten werden im Bodenkontrollsegment erzeugt. Die Satellitenposition wird dabei mit Hilfe von Kepler-Elementen beschrieben.
- Um die Empfängerposition auf Landkarten abzubilden, ist eine Koordinatentransformation notwendig.



Entfernungsmessung – Range

$t_{\text{ref}} = t_{\text{sig}}$ \downarrow $+1$ \downarrow $t_{\text{ref}} = t_{\text{sig}} + 3$

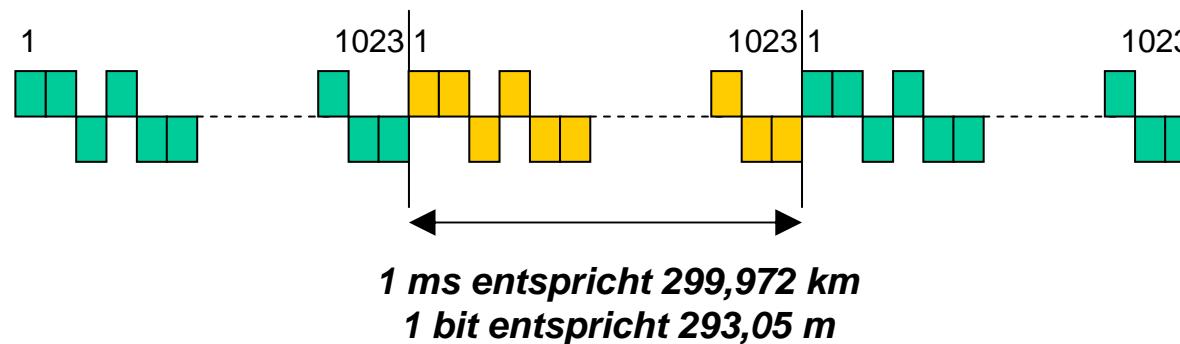
Das Produkt aus Signalcode (Empfang) und Referenz-code (Empfänger) wird über die Codelänge integriert.





Kalibrierung der Code-basierten Entfernungsmessung

- C/A Code (GPS) besteht aus einer Sequenz von 1023 bits, die mit einer Datenrate von 1.023 MHz/s ausgesendet werden



- Kreuzkorrelationsergebnis entspricht Entfernungsmessung modulo 299,972 km, wobei Entfernungsmessungen (Erdoberfläche) über 20.000 km liegen
- Kalibrierung erfordert a-priori Informationen aus den Navigationsdaten:
 - Satellitenposition aus Almanach
 - Hand-over-Word (gekürzter Sendezeitpunkt der NAV-Daten)



Entfernungsmessung - Trägerphase

Das empfangene, Doppler verschobene Trägersignal wird mit der im Empfänger erzeugten Referenzfrequenz (nominal konstant) verglichen.

Doppler Frequenz

$$f_{\text{Doppler}}(t) = f_{\text{ref}} \cdot \left[1 - \frac{1}{c} \cdot \frac{ds(t)}{dt} \right]$$

Frequenzdifferenz

$$f_{\text{ref}} - f_{\text{Doppler}}(t) = f_{\text{ref}} \cdot \left[\frac{1}{c} \cdot \frac{ds(t)}{dt} \right]$$

Phasendifferenz

$$\varphi(t) = \int_{t_0}^t (f_{\text{ref}} - f_{\text{Doppler}}(t)) \, dt = \frac{1}{\lambda} \int_{t_0}^t \frac{ds(t)}{dt} dt$$

- Unkalibriert – Mehrdeutigkeit bei t_0
- Präzise – Wellenlänge im Zentimeterbereich z.B. $\lambda_1 \sim 19 \text{ cm}$
- Stetigkeit – durch Cycle Slips unterbrochen



System- und Ausbreitungsbedingte Fehleranteile





Beobachtungsgrößen - Messmodelle

Codephasenmessung

$$P(t, f_x) = R_{geo}(t) + c \cdot (\delta T_{sat}(t) - \delta T_{rec}(t)) + d_{ion}(t, f_x) + d_{tro}(t) - m(t) + n(t)$$

Trägerphasenmessung

$$\varphi(t, f_x) = R_{geo}(t) + c \cdot (\delta T_{sat}(t) - \delta T_{rec}(t)) - d_{ion}(t, f_x) + d_{tro}(t) - \lambda(f_x) \cdot N(t) + \varepsilon_\varphi$$

Messgröße

Messmodell

Positionsbestimmung

$$D_{isat}(t) = F\{P_{isat}(t, f_x), \varphi_{isat}(t, f_x)\} \quad isat = 1, 2 \dots N_{sat} \quad N_{sat} \geq 4$$
$$= \sqrt{(X_{isat} - \underline{X_{rec}})^2 + (Y_{isat} - \underline{Y_{rec}})^2 + (Z_{isat} - \underline{Z_{rec}})^2} + c \cdot \underline{\delta T_{rec}}$$

Position und Empfängeruhrenfehler

Genauigkeit, Integrität und Kontinuität

Genauigkeitsfunktionalität:

Einhalten des erlaubten
Grenzwertes für
Positionsfehler (95%)

*Nicht
erfüllt !*

Mögliche Ursachen:

? GNSS

*? Ausbreitungsfehler
und Störungen*

? Empfänger

- Selbsterkennung durch System
- Alarm an Nutzer innerhalb ToA
- Tolerierbarer Fehler

Integritätsfunktionalität:

Detektion von systembedingten
Genauigkeitsverletzungen und
rechtzeitige Information der
Nutzer → GALILEO / GPS 3

Erfüllt !

Alarm Limit

Kontinuitätsgarantie:

Wahrscheinlichkeit für einen
spezifizierten Zeitraum, dass
die Integritäts- und Genauig-
keitsfunktionalität gewähr-
leistet ist (99.97% = 1x in 3h)



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



GNSS Integrität

Integritätsrisiko:

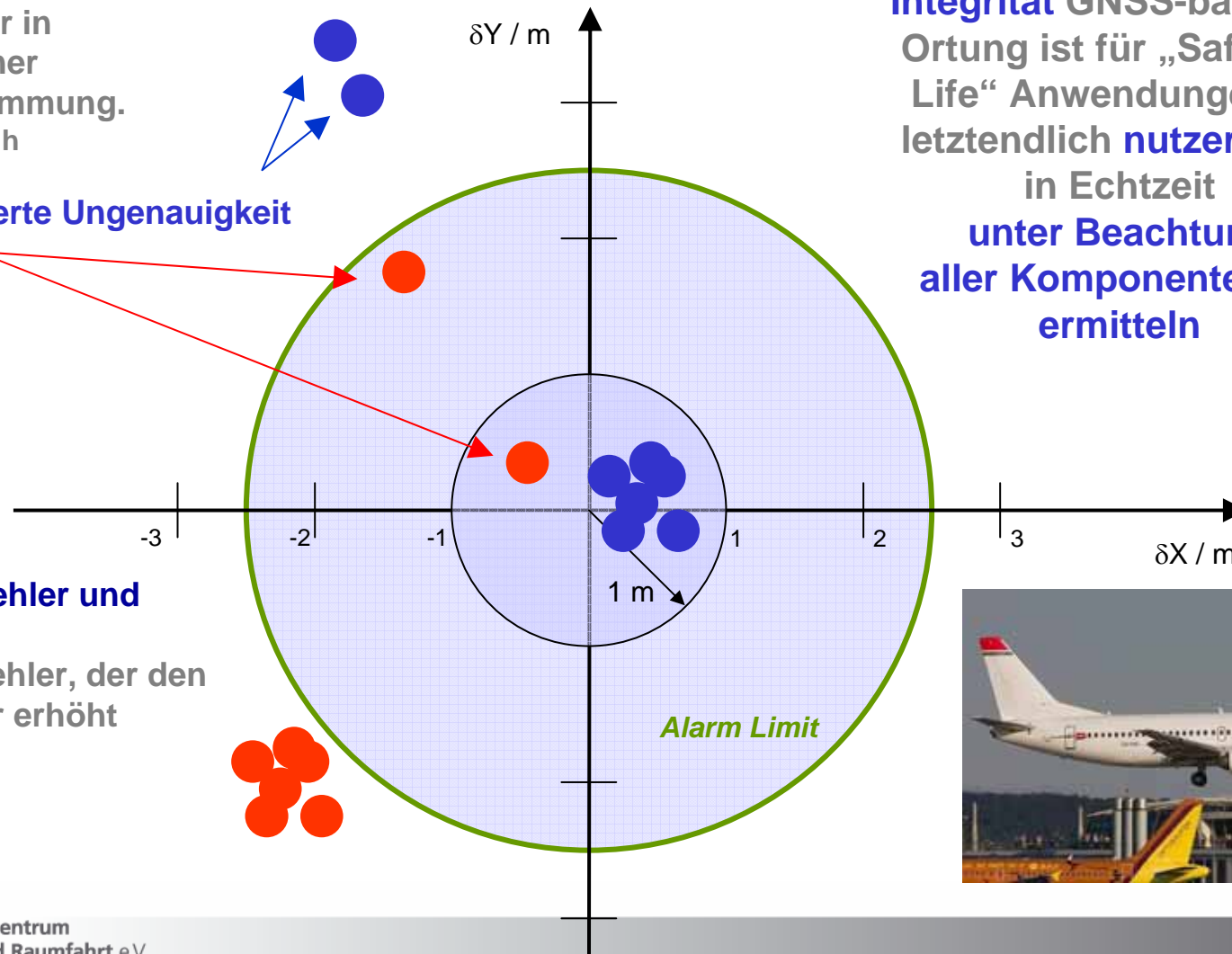
Erlaubter Fehler in systembezogener Integritätsbestimmung.
10-5/3h ~ 1x in 30 h

- Nicht detektierte Ungenauigkeit
- **Fehlalarm**

Ausbreitungsfehler und Empfänger:

Zusätzlicher Fehler, der den Positionsfehler erhöht

Integrität GNSS-basierter Ortung ist für „Safety of Life“ Anwendungen ist letztendlich **nutzerseitig** in Echtzeit unter Beachtung aller Komponenten zu ermitteln



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft